



ERDSCHLEIFEN, EMV UND SCHIRMUNGSKONZEPTE

URSACHEN, AUSWIRKUNGEN UND GEGENMAßNAHMEN

STEFFEN HERR



PCB Piezotronics GmbH

Gut Gansbroich 1
41836 Hückelhoven
02433 44444-0
info@pcb.de
www.piezotronics.de

Steffen Herr

Vertrieb Süd-Mitte
Telefon: + 49 (0) 2433 444440245
Mobil: +49 (0) 151-40537676
E-Mail: sherr@pcb.com
www.piezotronics.de

Warum sind Messketten empfindlich?

Wie entstehen Erdschleifen, Ground Loops in Messketten mit Sensoren?

Beispiel: Sensor → Kabel → Messwerterfassung →
Auswertung

Ziel: saubere Signalübertragung trotz Störungen

WIE ENTSTEHEN ERDSCHLEIFEN, GROUND LOOPS IN MESSKETTEN MIT SENSOREN?

Erdschleifen (Ground Loops) entstehen in Messketten mit Sensoren immer dann, wenn **mehrere elektrische Masse- bzw. Erdverbindungen zwischen Geräten bestehen** und dadurch ein **geschlossener Stromkreis über die Schirmung oder Masseleitungen** gebildet wird.

Das passiert typischerweise wenn...

1. Mehrere Erdungspunkte

- Beispiel: Ein Sensor ist geerdet (z. B. über sein Gehäuse oder die Abschirmung des Kabels) und das Messgerät, das ihn auswertet, ist ebenfalls geerdet – aber an einem anderen Punkt des Gebäudenetzes.
- Diese beiden Erdungspunkte haben in der Praxis nicht exakt dasselbe elektrische Potential (Potentialdifferenzen von einigen mV bis mehreren V sind normal).

2. Geschlossene Schleife über Masse / Schirm

- Durch das Verbindungskabel (Signal- und Schirmleitung) zwischen Sensor und Messgerät wird die Masse verbunden.
- Damit ergibt sich ein Ring: Erdungspunkt A → Sensor → Kabelschirm/Masseleitung → Messgerät → Erdungspunkt B → zurück nach Erdungspunkt A.

3. Einkopplung von Störungen

- Weil die Erdschleife eine leitfähige Fläche bildet, wirkt sie wie eine Antenne: Magnetische Wechselfelder (z. B. von Netzleitungen oder Motoren) induzieren Ströme in dieser Schleife.
- Zusätzlich fließen Ausgleichsströme zwischen den unterschiedlichen Erdpotentialen.

4. Folge

- Diese Ströme überlagern das eigentliche Sensorsignal und führen zu Messfehlern, Rauschen oder sogar Gerätestörungen.

EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) spielt in Messketten mit Sensoren eine **zentrale Rolle**, weil schwache Signale sehr empfindlich auf Störungen reagieren.

Die wichtigsten **Einflüsse von EMV auf Sensormessketten** sind:

1. Elektromagnetische Einstrahlung (EMI)

- **Funkfelder** (z. B. von Mobiltelefonen, WLAN, Funkgeräten) können sich in Leitungen oder Schaltungen einkoppeln.
- Folgen: Messwerte springen, zeigen Rauschen oder falsche Peaks.

2. Induktive und kapazitive Einkopplung

- **Induktiv**: Starke magnetische Wechselfelder (z. B. von Netzleitungen, Trafos, Motoren) induzieren Spannungen in Leiterschleifen.
- **Kapazitiv**: Parallele Leitungen mit hohem Potenzialunterschied wirken wie Kondensatoren → Signalstörungen durch Übersprechen.

3. Gleichtaktstörungen

- Externe Störquellen legen auf **beide Leitungen eines Sensorsignals** das gleiche Störsignal.
- Wenn das Messsystem nicht differenziell misst, erscheinen diese Störungen direkt im Messergebnis.

4. Erdschleifen (siehe vorher)

- Teil der EMV-Problematik: Störströme über gemeinsame Massewege verfälschen das Sensorsignal.

5. Leitungsgebundene Störungen

- Über **Versorgungsleitungen** (Netz, DC-Spannungen) können Störimpulse (Schaltnetzteile, Motorantriebe) in die Sensorelektronik gelangen.
- Führt zu Drift, sporadischen Aussetzern oder Übersteuerung des Messkanals.

6. Elektrostatische Entladung (ESD)

- Entladungen beim Berühren von Sensoren oder Kabeln können empfindliche Eingangsstufen schädigen oder Störimpulse auslösen.

7. Hochfrequenzkopplungen bei langen Kabeln

- Lange Sensorkabel wirken wie **Antennen**. Hochfrequente Störungen (z. B. Rundfunk, Mobilfunk) können direkt als Spannung eingespeist werden.

Praktische Folgen in der Messkette

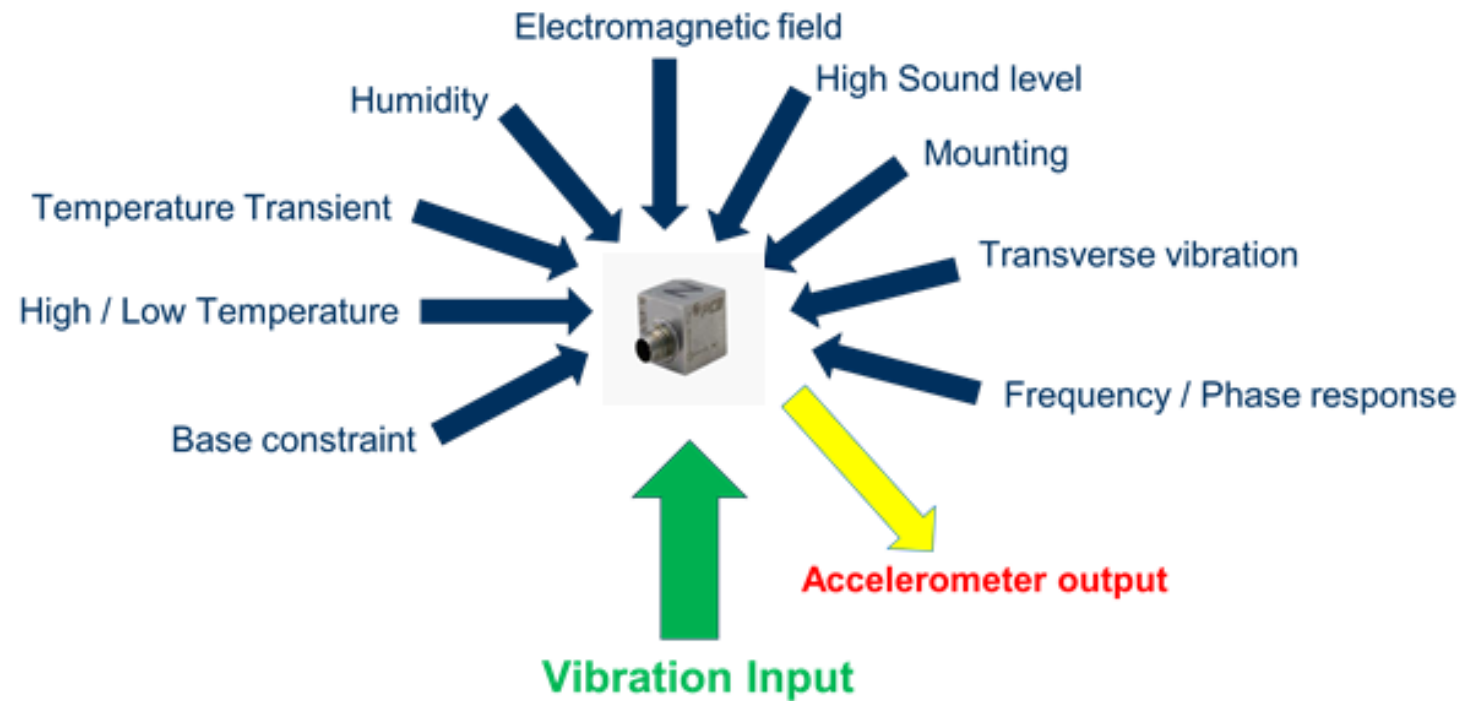
- Rauschen / unruhige Messwerte
- Offset-Drift oder Sprünge
- Signalüberlagerungen (falsche Peaks)
- Komplette falsche oder ausfallende Messungen

GEGENMAßNAHMEN – ÜBERSICHT

Voraussetzung ist die Auswahl des richtigen Sensors für die Anwendung

- Kabel & Verlegung: Twisted Pair, kurze Wege, Abstand zu Störquellen
- Schirmung & Erdung: einseitig / beidseitig abhängig von Frequenz
- Signalübertragung: differenziell, 4–20 mA, galvanisch getrennt
- Filter: RC-/LC-Filter, Ferrite, Netzfilter, Entkopplung
- Design: sternförmige Masse, Trennung von analog & digital

EXTERNE EINFLÜSSE AUF BESCHLEUNIGUNGS SENSOREN



GROUND ISOLATION VS. CASE ISOLATION



Case grounded
triaxial accelerometer

Ground or Base Isolation

Mount to
Kapton® tape



Add anodized
aluminum base



Built-in to
accelerometer



Case Isolation

Built-in to
accelerometer





Herausforderungen bei der Beschleunigungsmessung im Hochvoltbereich mit piezoelektrischen Sensoren

Lösungen und praktische Tipps

Aufgrund von verstärkt stattfindenden Tests im Hochvoltbereich bei der Entwicklung elektrischer Antriebe im Fahrzeugbereich und auch bei der Entwicklung von Flugzeugen stellte sich die grundsätzliche Frage, welchen Einfluss hat Hochvoltumgebung auf Beschleunigungssensorik, Kabel und Messtechnik bei NVH-Tests.

Um Aussagen hierzu treffen zu können, hat PCB Piezotronics Inc. als einer der marktführenden Sensorhersteller im Bereich der piezoelektrischen Sensorik ausgiebige Versuche und Testreihen an einem Elektrofahrzeug durchgeführt. Hierbei wurden mit unterschiedlichen Sensoren (Beschleunigung uniaxial / Beschleunigung triaxial / Mikrofone) und verschiedenen Varianten (ICP®/Ladung/VC-MEMS) an verschiedenen Messpunkten gemessen und die Ergebnisse verglichen.



Trotz zeitintensiver Auswertung der erheblichen Datenmengen konnten keine klaren Ergebnisse und Empfehlungen hinsichtlich optimaler Sensorauswahl generiert werden.

Die Erfahrung in der Praxis zeigt, dass es Probleme mit Rauschen bei der Verwendung von triaxialen piezoelektrischen Beschleunigungssensoren im Hochvoltbereich geben kann. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Verwendung von masse- und gehäuseisolierten Sensoren meist vorteilhaft ist. Maßgeblich entscheidend scheint aber das Schirmungskonzept zu sein.

Nachfolgend ist eine Gegenüberstellung der beiden Schirmungsvarianten mit Bildern der beiden Kabelvarianten zu finden.



NVH-SENSOREN FÜR DIE E-MOBILITÄT



Schwingversuche
Modalanalyse
Komponententest
Umweltsimulation
HALT/HASS
Batterietest



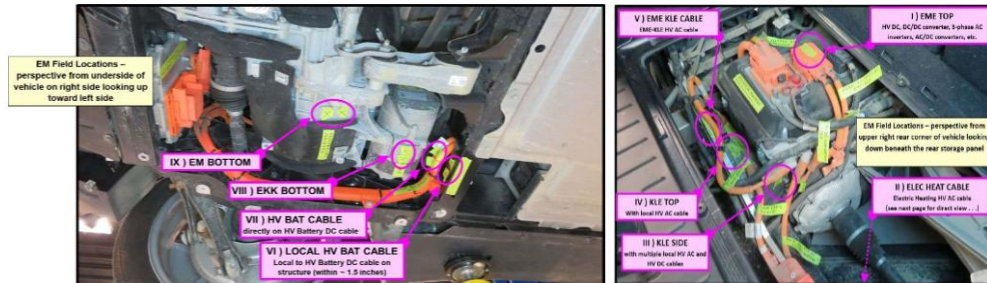


Herausforderungen bei der Beschleunigungsmessung im Hochvoltbereich mit piezoelektrischen Sensoren

Lösungen und praktische Tipps

Aufgrund von verstärkt stattfindenden Tests im Hochvoltbereich bei der Entwicklung elektrischer Antriebe im Fahrzeugbereich und auch bei der Entwicklung von Flugzeugen stellte sich die grundsätzliche Frage, welchen Einfluss hat Hochvoltumgebung auf Beschleunigungssensorik, Kabel und Messtechnik bei NVH-Tests.

Um Aussagen hierzu treffen zu können, hat PCB Piezotronics Inc. als einer der marktführenden Sensorhersteller im Bereich der piezoelektrischen Sensorik ausgiebige Versuche und Testreihen an einem Elektrofahrzeug durchgeführt. Hierbei wurden mit unterschiedlichen Sensoren (Beschleunigung uniaxial / Beschleunigung triaxial / Mikrofone) und verschiedenen Varianten (ICP®/Ladung/VC-MEMS) an verschiedenen Messpunkten gemessen und die Ergebnisse verglichen.



Trotz zeitintensiver Auswertung der erheblichen Datenmengen konnten keine klaren Ergebnisse und Empfehlungen hinsichtlich optimaler Sensorauswahl generiert werden.

Die Erfahrung in der Praxis zeigt, dass es Probleme mit Rauschen bei der Verwendung von triaxialen piezoelektrischen Beschleunigungssensoren im Hochvoltbereich geben kann. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Verwendung von masse- und gehäuseisolierten Sensoren meist vorteilhaft ist. Maßgeblich entscheidend scheint aber das Schirmungskonzept zu sein.

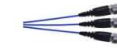
Nachfolgend ist eine Gegenüberstellung der beiden Schirmungsvarianten mit Bildern der beiden Kabelvarianten zu finden.



Triax Cable Triple Splice Options

BNC Plugs

- JW – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a BNC plug (AC connector)
- NF – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a BNC plug (AC connector), **4-cond. shield grounded**



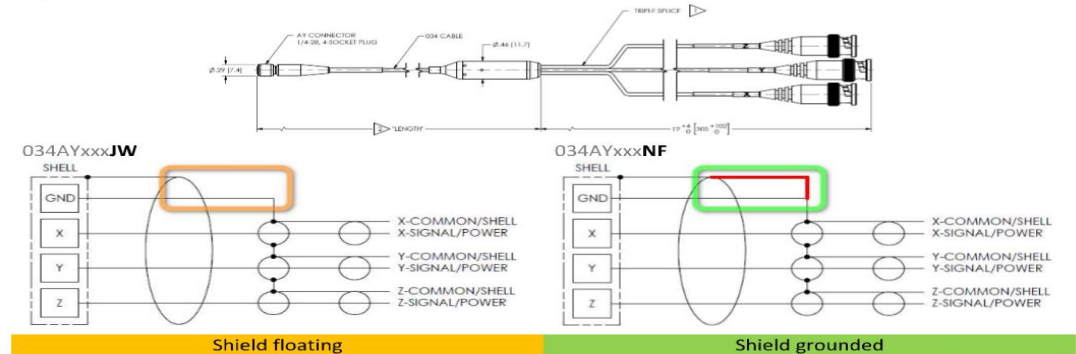
10-32 Plugs

- JY – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a 10-32 plug (EB connector)
- NV – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a 10-32 plug (EB connector), **4-cond. shield grounded**

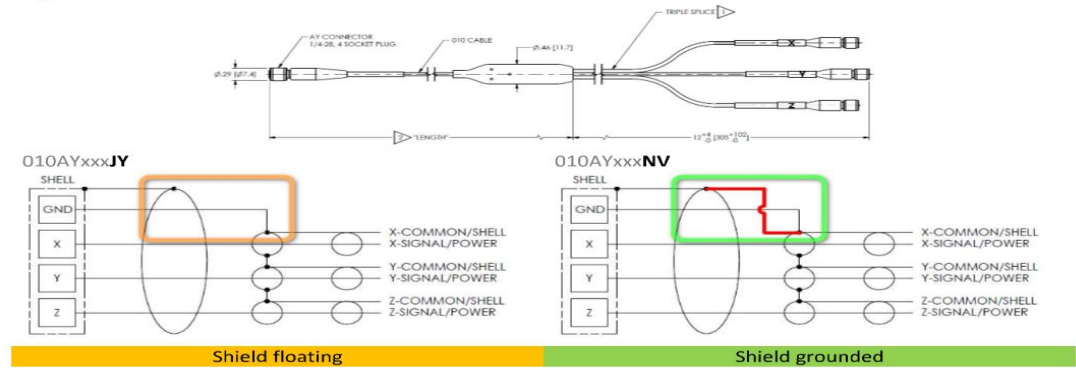


Cable Types

Type 034AYxxx ...



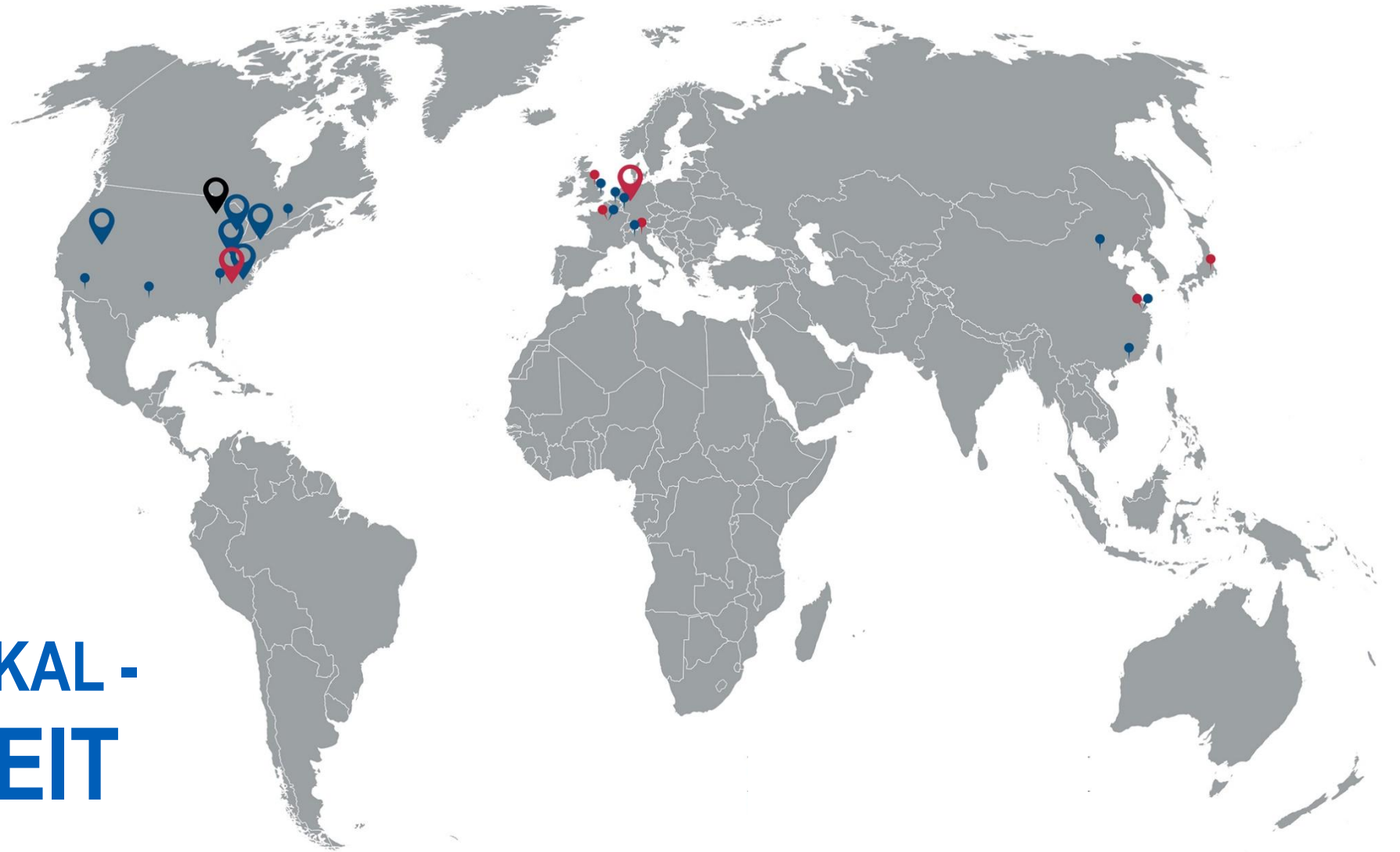
Type 010AYxxx ...



Summary

Model Type	Surface	JW/JY Triple Splice		NF/NV Triple Splice	
		Case #	Performance	Case #	Performance
Case Grounded Triax	Grounded	1	Okay (Ground Loop Potential)	8	Okay (Ground Loop Potential)
Case Grounded Triax	Ungrounded	2	Bad	9	Good
Case Grounded Triax on Isolation Barrier	Un/Grounded	3	Bad	10	Good
Ground Isolated Triax	Un/Grounded	4	Bad	11	Good
Case Isolated Triax	Grounded	5	Awesome	12	Okay (Ground Loop Potential, Loss of Case Isolation)
Case Isolated Triax	Ungrounded	6	Terrible (No Protection)	13	Great (Loss of Case Isolation)
Case Isolated Triax on Isolation Barrier	Un/Grounded	7	Terrible (No Protection)	14	Great (Loss of Case Isolation)

**WIR SIND LOKAL -
WELTWEIT**





Weitere tiefere Informationen finden Sie im
Anschluss weiter unten



Triax Cable Triple Splice Options

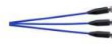
BNC Plugs

- JW – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a BNC plug (AC connector)
- NF – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a BNC plug (AC connector), **4-cond. shield grounded**



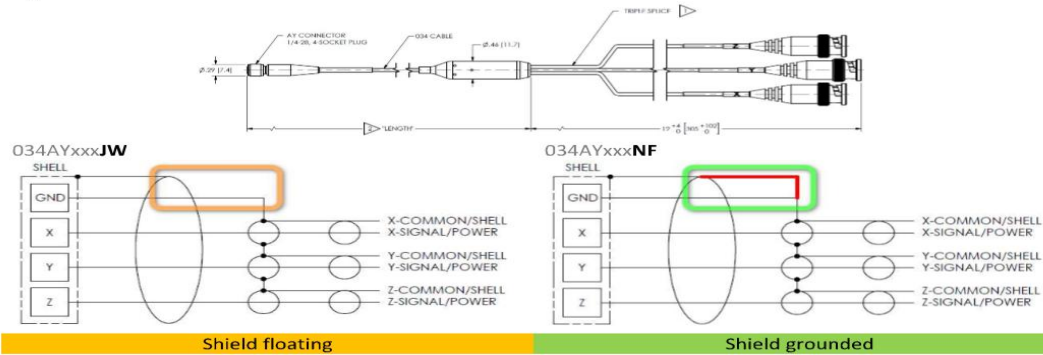
10-32 Plugs

- JY – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a 10-32 plug (EB connector)
- NV – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a 10-32 plug (EB connector), **4-cond. shield grounded**

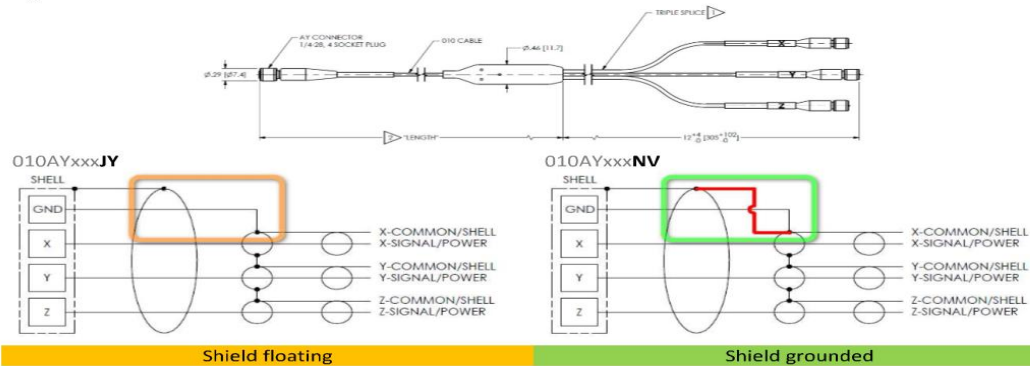


Cable Types

Type 034AYxxx ...

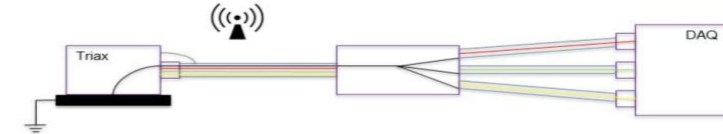


Type 010AYxxx ...

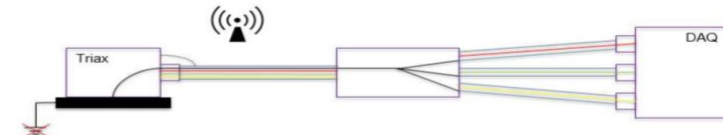


Configuration examples accelerometer and cable

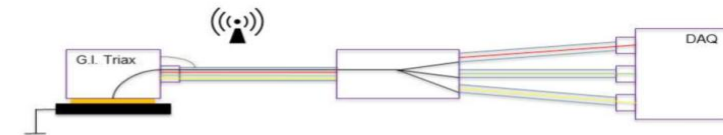
- (1) ■ Non-Isolated triaxial Accelerometer and Grounded Surface
 ■ Shield floating (Cable /w JW/JY Triple Splice)
 → OKAY, Ground Loop Potential



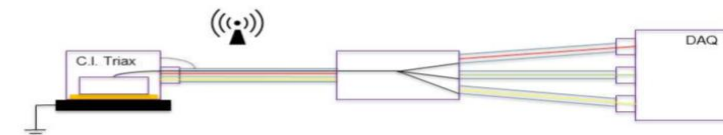
- (2) ■ Non-Isolated triaxial Accelerometer and Ungrounded Surface
 ■ Shield floating (Cable /w JW/JY Triple Splice)
 → BAD



- (3) ■ Ground-Isolated triaxial Accelerometer or Isolated Base and Grounded Surface
 ■ Shield floating (Cable /w JW/JY Triple Splice)
 → BAD

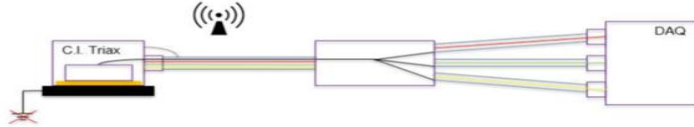


- (4) ■ Case-Isolated triaxial Accelerometer and Grounded Surface
 ■ Shield floating (Cable /w JW/JY Triple Splice)
 → GOOD/Great

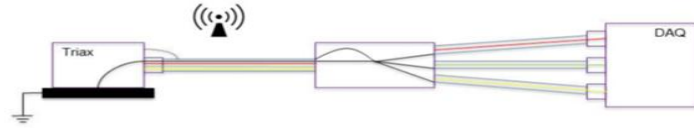




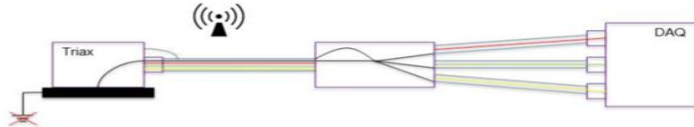
- (5) ■ Case-Isolated triaxial Accelerometer and Ungrounded Surface
 ■ Shield floating (Cable /w JW/JY Triple Splice)
 → BAD, Antenna



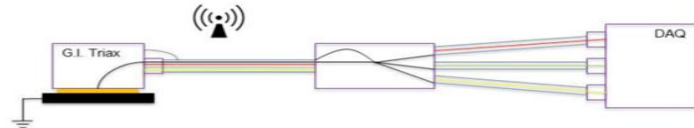
- (6) ■ Non-Isolated triaxial Accelerometer and Grounded Surface
 ■ Shield grounded (Cable /w NF/NV Triple Splice)
 → OKAY, Ground Loop Potential



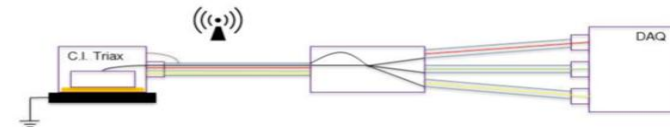
- (7) ■ Non-Isolated triaxial Accelerometer and Ungrounded Surface
 ■ Shield grounded (Cable /w NF/NV Triple Splice)
 → GOOD



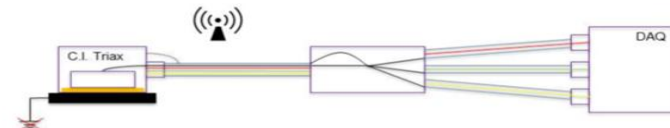
- (8) ■ Ground-Isolated triaxial Accelerometer or Isolated Base and Grounded Surface
 ■ Shield grounded (Cable /w NF/NV Triple Splice)
 → GOOD



- (9) ■ Case-Isolated triaxial Accelerometer and Grounded Surface
 ■ Shield grounded (Cable /w NF/NV Triple Splice)
 → OKAY/Good, Ground Loop Potential



- (10) ■ Case-Isolated triaxial Accelerometer and Ungrounded Surface
 ■ Shield grounded (Cable /w NF/NV Triple Splice)
 → GOOD/Great



Zusammenfassung

Vibrationsmessungen im Hochvoltbereich stellen Beschleunigungssensoren vor einzigartige Herausforderungen. Der Einfluss von elektromagnetischen Feldern, erzeugt vom Fahrzeug selbst oder anderen Prüfgeräten, kann zu fehlerhaften und unzuverlässigen Messwerten führen. Oft existiert mehr als ein elektrischer Pfad zwischen zwei Punkten unterschiedlichen elektrischen Potentials, was zu einem Stromfluss zwischen den Punkten führt, der allgemein als Masseschleife bezeichnet wird. Beim Testen von Elektro- und Hybridfahr- und Flugzeugen treten diese Herausforderungen besonders häufig auf, wenn Beschleunigungsmesser direkt an oder in unmittelbarer Nähe von Antriebsreglern, Antriebsmotorbaugruppen, Hochleistungskabeln oder elektronischen Lademodulen montiert sind.

Die genaue Betrachtung der elektrischen Einbausituation und der Einsatz masseisolierter Sensoren kann Abhilfe schaffen.

TRIAX CABLE TRIPLE SPLICE OPTIONS

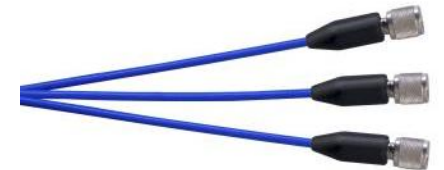
BNC Connectors

- JW – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a BNC plug (AC connector)
- JX – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a BNC jack (AB connector)
- NF – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a BNC plug (AC connector),
4-cond. shield grounded



10-32 Connectors

- JY – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a 10-32 plug (EB connector)
- LA – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a 10-32 plug (EJ connector)
- JZ – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a 10-32 jack (PH connector)
- NV – Triple splice assembly with (3) 1-ft coaxial cables each with a 10-32 plug (EB connector),
4-cond. shield grounded

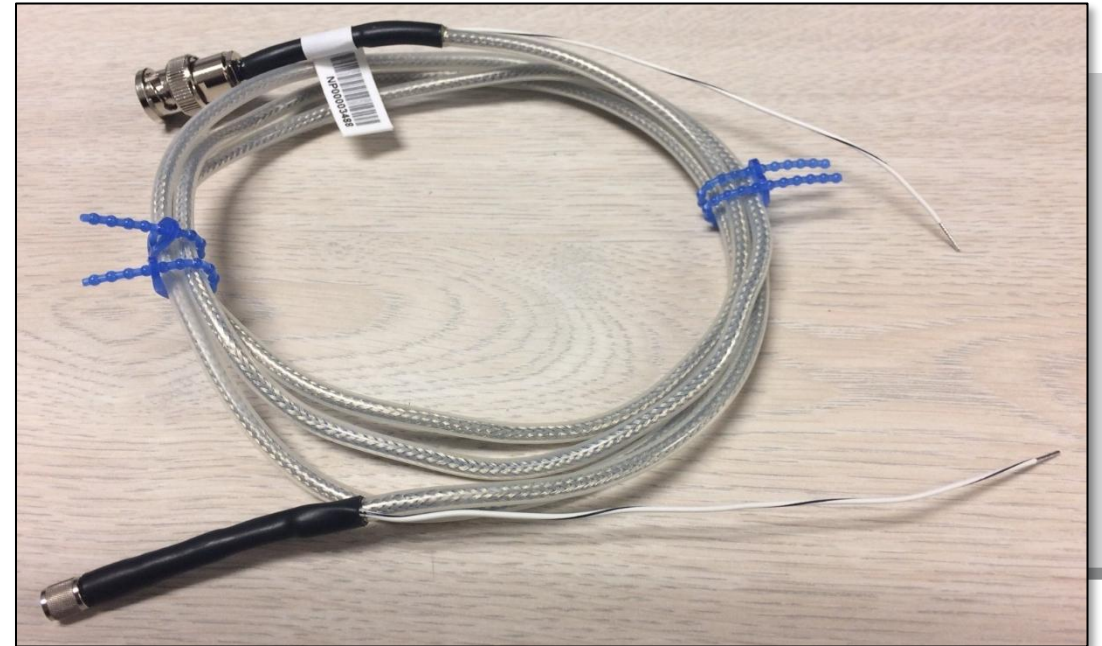


- 1/4-28 Connectors – AY, RB, RJ, QN, CA
- 8-36 Connectors – EH, HJ



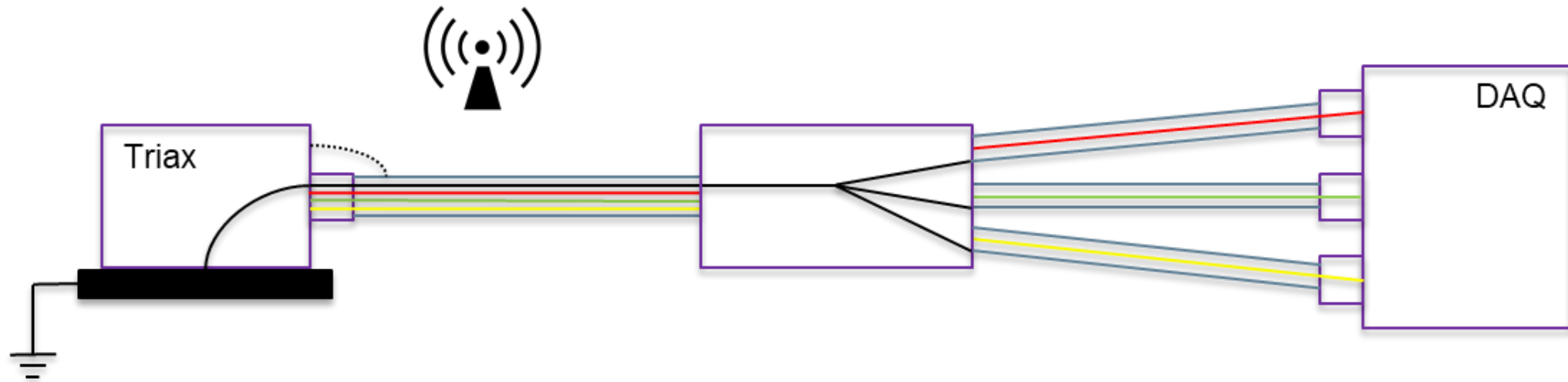
COAX CABLES IN EM FIELDS

- For Integral Coax Connector Sensors... Additional mitigations can be achieved by using one of the below TEST cables, but it is likely not necessary.
- 005 – 002 coaxial cable with tin plated copper braid & heat shrink tubing applied
- 006 – 003 coaxial cable with tin plated copper braid & heat shrink tubing applied
- 032 – General purpose, lightweight, 2-conductor, 30 awg (7/40), twisted, shielded, FEP cable
- Special cables like 006M43 and 006M48 where a pigtail is attached to the outer shield at each end to bleed off EM field interference.



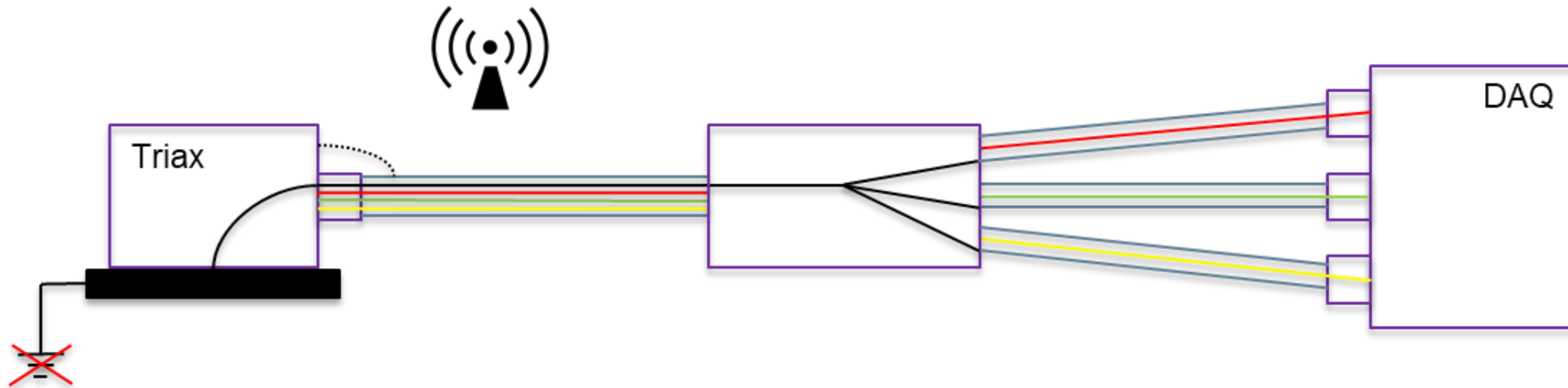
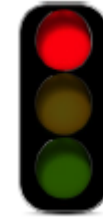
EXAMPLE CASE #1

- Case Grounded Triax on a Grounded Surface with JW/JY Triple Splice
- Okay! (Ground Loop Potential)



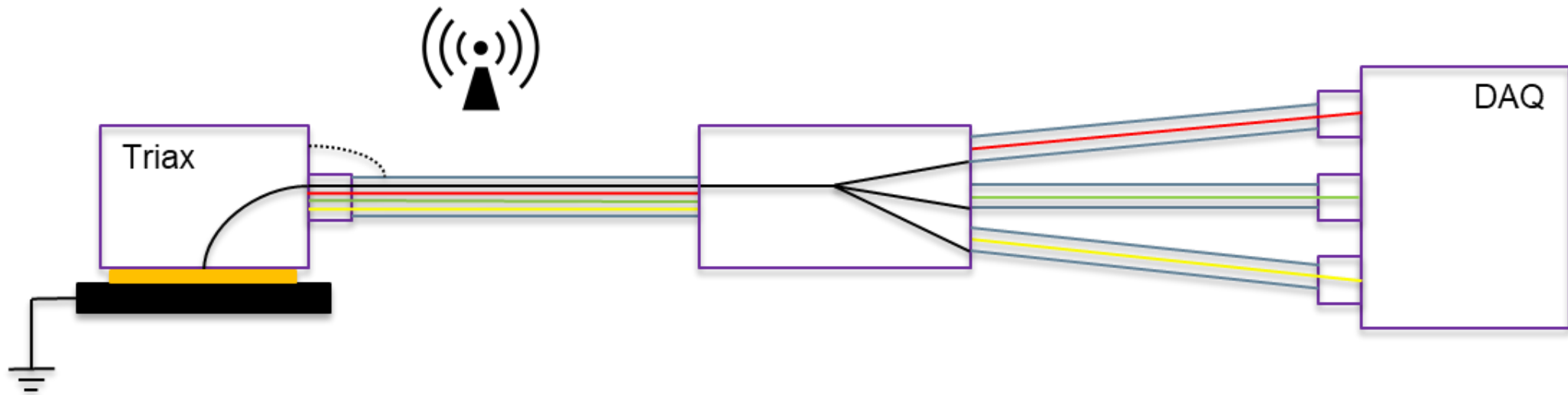
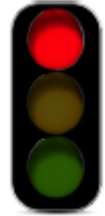
EXAMPLE CASE #2

- Case Grounded Triax on a Ungrounded Surface with JW/JY Triple Splice
- Bad!



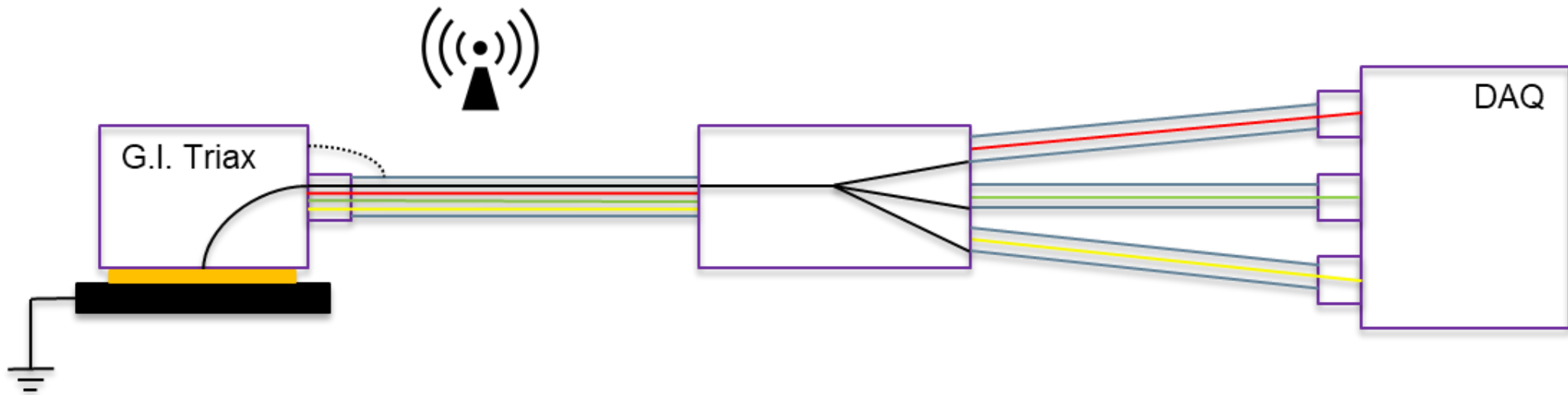
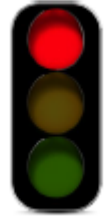
EXAMPLE CASE #3

- Case Grounded Triax on an Isolation Barrier on a Un/Grounded Surface with JW/JY Triple Splice
- Bad!



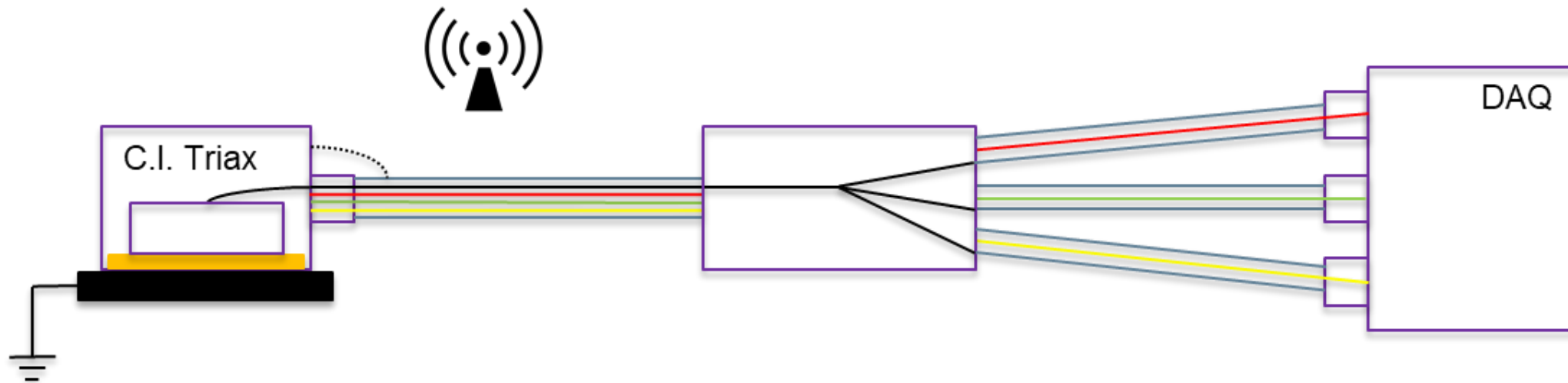
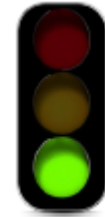
EXAMPLE CASE #4

- Ground Isolated Triax on a Un/Grounded Surface with JW/JY Triple Splice
- Bad!



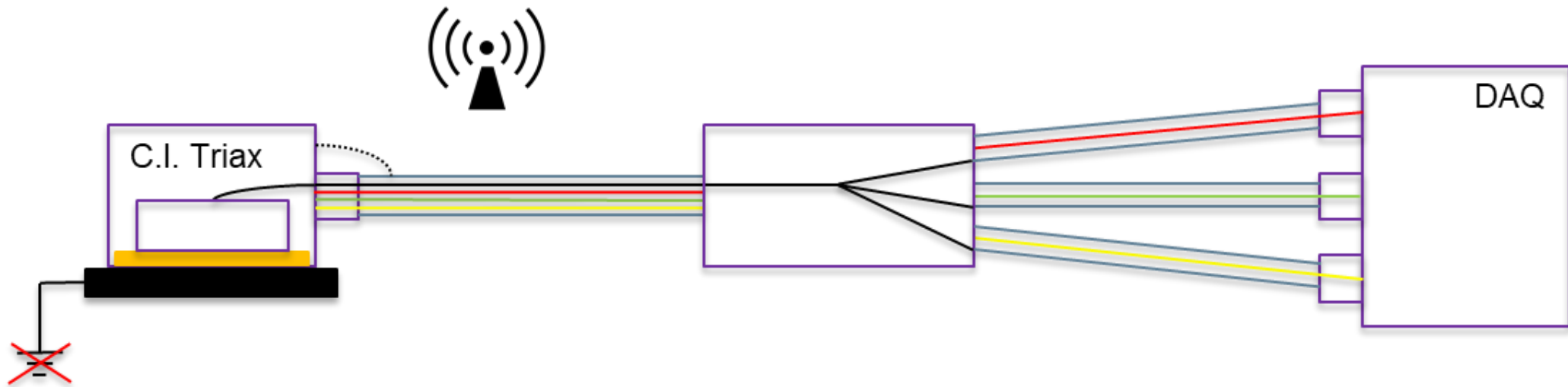
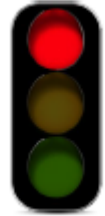
EXAMPLE CASE #5

- Case Isolated Triax on a Grounded Surface with JW/JY Triple Splice
- Awesome!



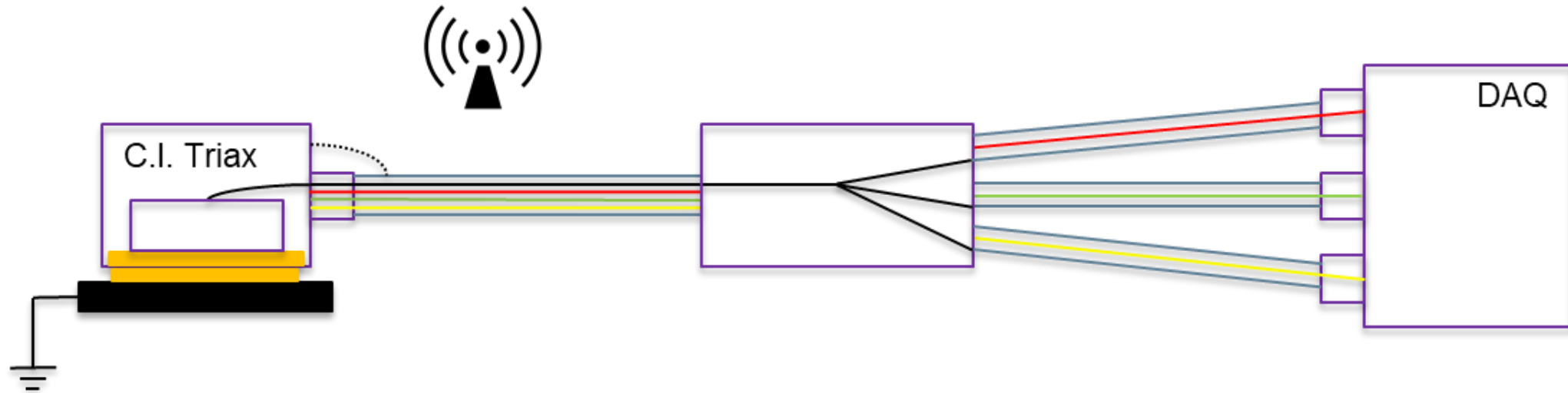
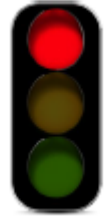
EXAMPLE CASE #6

- Case Isolated Triax on a Ungrounded Surface with JW/JY Triple Splice
- Terrible! (No Protection)

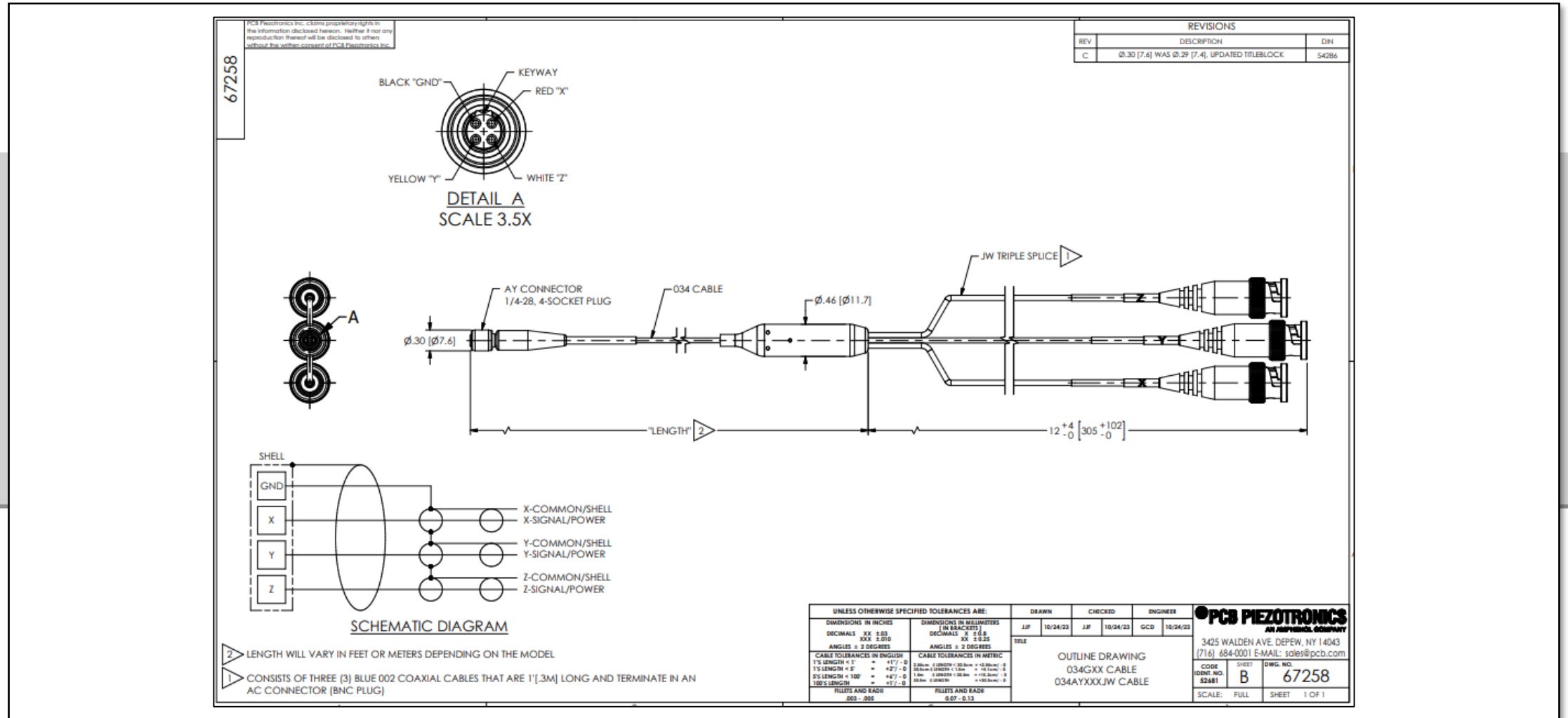


EXAMPLE CASE #7

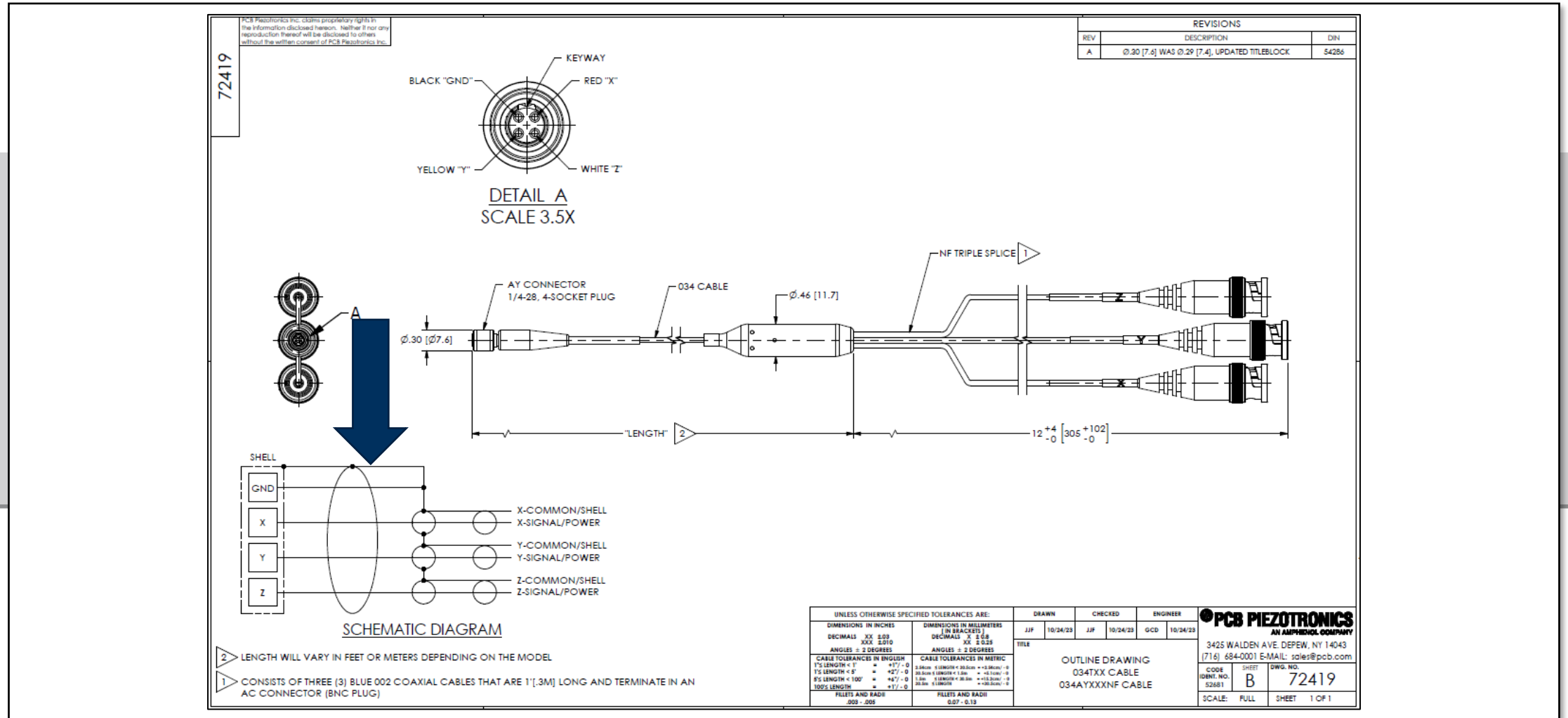
- Case Isolated Triax on a Isolation Barrier on a Un/Grounded Surface with JW/JY Triple Splice
- Terrible! (No Protection)



CABLE – 034GXX / 034AYXXXJW

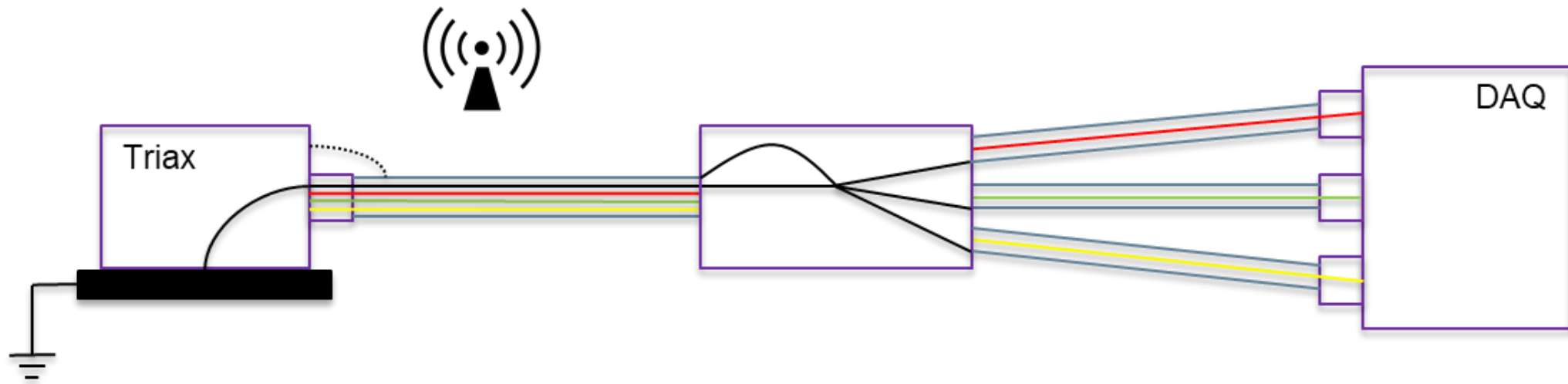


CABLE – 034TXX / 034AYXXXNF



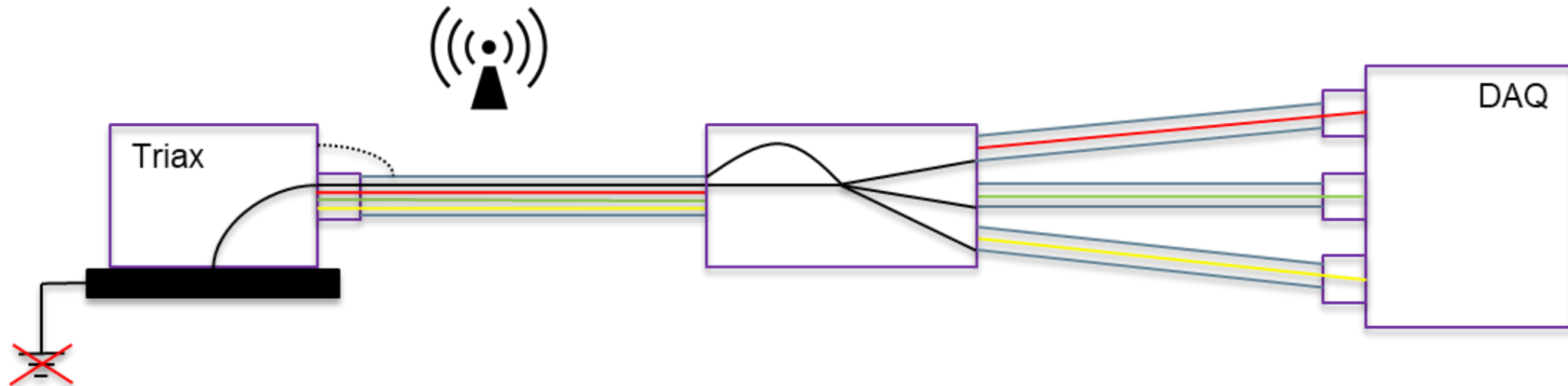
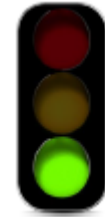
EXAMPLE CASE #8

- Case Grounded Triax on a Grounded Surface with NF/NV Triple Splice
- Okay! (Ground Loop Potential)



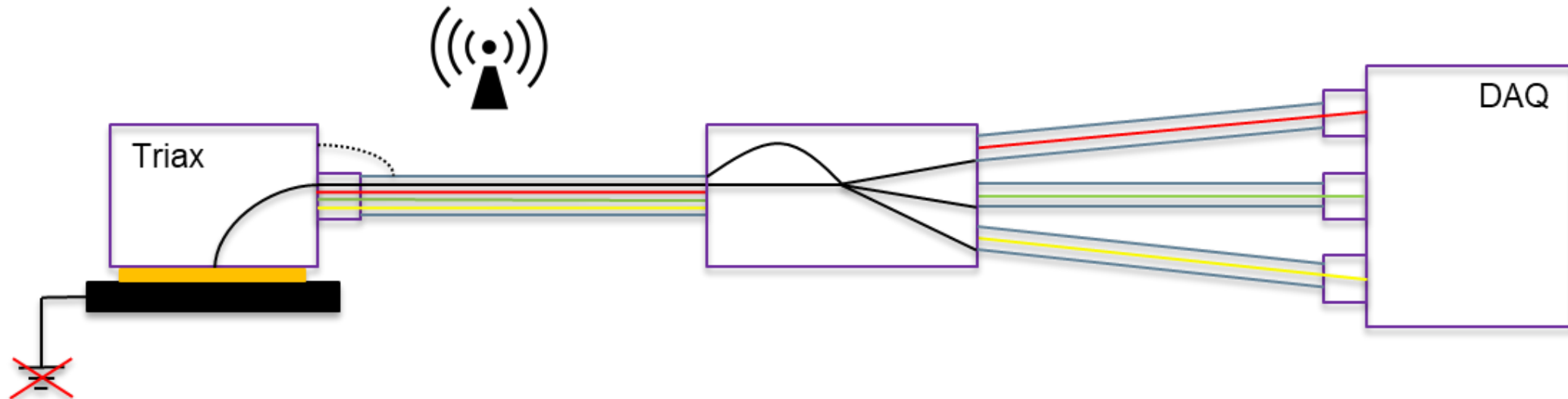
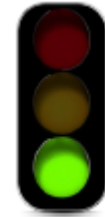
EXAMPLE CASE #9

- Case Grounded Triax on a Ungrounded Surface with NF/NV Triple Splice
- Good!



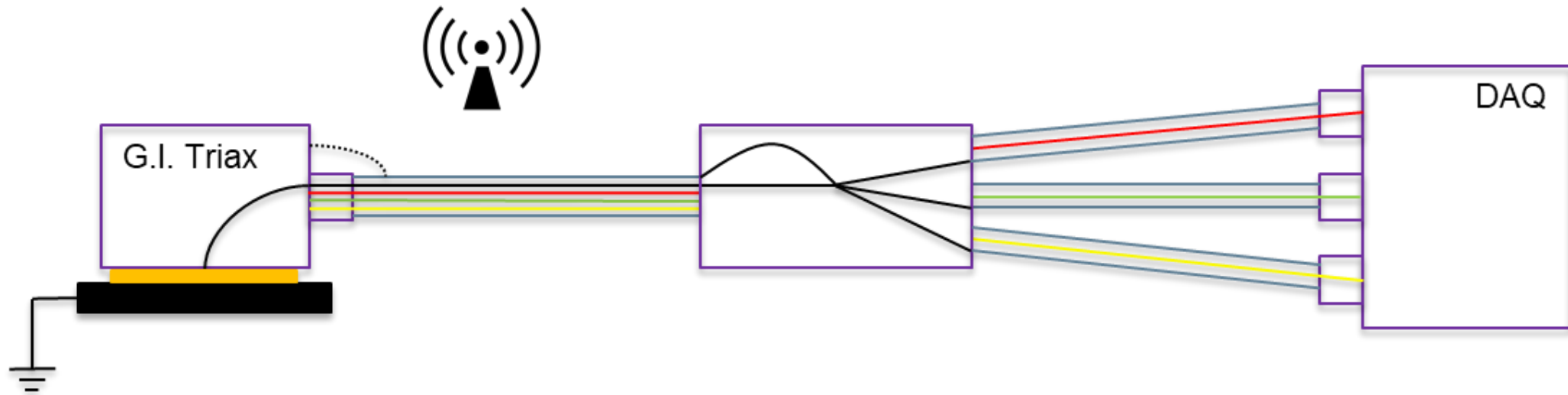
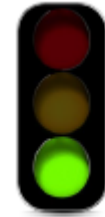
EXAMPLE CASE #10

- Case Grounded Triax on a Isolation Barrier on a Un/Grounded Surface with NF/NV Triple Splice
- Good!



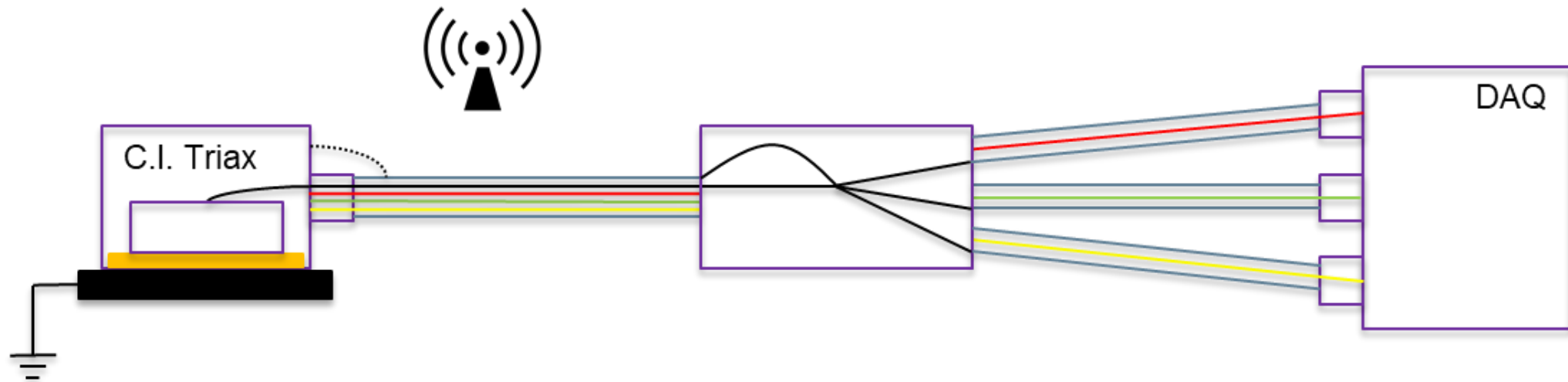
EXAMPLE CASE #11

- Ground Isolated Triax on a Un/Grounded Surface with NF/NV Triple Splice
- Good!



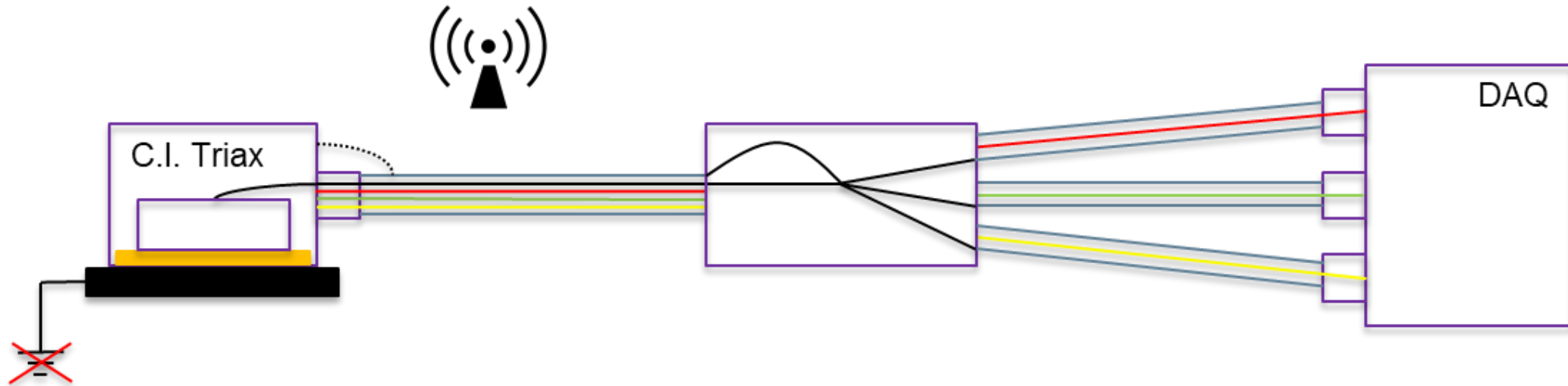
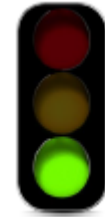
EXAMPLE CASE #12

- Case Isolated Triax on a Grounded Surface with NF/NV Triple Splice
- Okay! (Ground Loop Potential, Loss of Case Isolation)



EXAMPLE CASE #13

- Case Isolated Triax on a Ungrounded Surface with NF/NV Triple Splice
- Good!



EXAMPLE CASE #14

- Case Isolated Triax on a Isolation Barrier on a Un/Grounded Surface with NF/NV Triple Splice
- Good!

